日本機械学会論文
集C編、Vol.758
No.75,2009/11/17

サービスロボットにおける安全設計の妥当性判断基準
（クリティカル・ハザードと合理的な代替設計基準）

加部隆史[*1]，平野晋[*2]，梅崎重夫[*3]，田中紘一[*1]，杉本旭[*4]

Criterion for the Validity of Safety Design of Service Robot （Critical Hazard: CH and Reasonable Alternative Design Standard: RAD）

Takashi KABE[*1], Susumu HIRANO, Kohichi TANAKA, Shigeo UMEZAKI, Noboru SUGIMOTO

*[1] NPO The Safety Engineering Laboratory
3-39-8 Shoan Suginami-ku Tokyo 160-0054 Japan

Service robots as a new technology, while very useful in some respects, are by nature dangerous in others because of intimate contact with human being. Once a fatal accident occurs, service robots may be branded as unreasonably dangerous products having generic risks. Thus, the criterion of their safety validity and the treatment of the associated residual risk should be critically appreciated.

This paper examines both the safety test procedures taken in the ISO/IEC safety standards as an ex ante measure and the tort litigation including products liability in USA as an ex post measure. Taking into account the characteristics of both the measures, we propose a judgment test procedure for certifying the safety of service robots as follows: 1.Risk reduction by safety design according to a priori safety principles (ISO/IEC standards for safety of machinery), 2.Risk judgment test according to the ALARP (As Low As Reasonable Practicable) principle or risk-utility test., 3.Specification of hazards causing the residual risks in the ALARP region as Critical Hazards (CHs) when they are so significant as to cause a fatal accident., 4.Test of validity of the risk reduction measures for CHs according to the Reasonable Alternative Design (RAD) standard in the tort litigation.

Key Words : Risk-Based Design, Safety-Engineering, Risk Assesment,ISO12100, RAD, ALARP

1. 緒　　言

機械の発展は多大の利便性を提供するが，機械が駆動エネルギを有する限り，確定的危険源は存在し，事故を発生させるリスクは免れ得ない．それに対する安全確保は受け入れ不可能なリスクを失くすことによって達成されるが，その技術はこれまで事故の経験から帰納的に進化を遂げてきた．しかし，安全を達成する事により利便性が損われたり，使用者の負担する費用が高くなるという場合，実際上，社会はリスクとベネフィット(benefits)のトレードオフの関係を許容し，重要な危険源に伴なう残留リスクの管理を使用者の自己責任に委ねざるを得ない．機械製造者は，製品を市場に流通する際には，このトレードオフの関係と残留リスク移管の判断の根拠を明確化する必要がある．

安全に対する責任体系は，事前（ex ante）と事後(ex post)の２つに大別できる．前者は欧州（EU）で主流となっている概念で，機械安全の国際規格の基本原則となっている．危険源に対し，リスクアセスメント及びリスク低減を実施することにより，事故の予見可能性及び結果回避可能性を技術的措置として立証する[1)]．そして，事故は予防可能であるという概念の基に安全の責任を全うする．一方，事後責任は事故が発生した後に不法行為法（Torts）あるいはその延長である製造物責任法（PL法）に依って責任を問う．すなわち，原告に対する賠償によって事故の損失を製造者に転嫁するとともに事故の抑止機能を働かせる．なお，PL法は米国で生まれて発展してきた．

欧州と米国で責任体系は異なっていても，リスク概念には共通性がある．しかし，欧州では認証制度を基

*原稿受付　2008年5月9日（論文No.08-0413）
*[1]正員，NPO安全工学研究所（167-0054　東京都杉並区松庵3-39-8）
*[2]中央大学（192-0393 東京都八王子市東中野742-1）
*[3]正員，独立行政法人労働安全衛生総合研究所産業安全研究所(204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6)
*[4]正員，長岡技術科学大学（940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603－1）
E-mail: kabe@safetylabo.com

本としているが，リスクの判断は個々の製造者の責任でなされるため，判断基準はあいまいである．これに対して，米国では，リスク判断は裁判所でなされるので，その基準はより厳密である．

筆者らは，新技術としてのサービスロボットの認証に関する業務を開始した[2) 3)]．サービスロボットは新しいカテゴリの製品に属し，これまでにない新しい概念の製品であり，未知のリスクを内包している．そのため，もし製品事故が生じた場合には大衆から大きな拒否反応が示されることが懸念される[4)]．何故なら，新規に持ち込まれたリスクはそれに伴うベネフィットが非常に大きなものであったとしても，なお，大きな問題があると捉えてしまうからである．

本稿で提案する基準は，従来の機械及び新技術を含むあらゆる人工物に適応可能であり，とりわけ JIS B 0187:2005　サービスロボット－用語に定められたサービスロボットを対象とする．

それでは，何を持って新しいカテゴリの製品のリスク受容を判断したら良いかの解釈と提案が本報の主題である.そのためには次の 2 点を考慮する必要がある．

(1) 新製品であるから，当然事前に予防原則を適用する必要があるので，機械安全の国際規格に則ったリスクアセスメントを実施しリスク低減方策を講ずるべきである．

(2) 感情的にリスクを過大評価することなく，判断基準は合理性を持って設定すべきである．それには，過去の経験の豊富な米国の PL 法裁判で採用されている判断基準を参考にするのが妥当である．

本報ではまず，機械安全の国際規格におけるリスク判断基準を総括して論じた．次に米国における PL 法の判断基準の歴史的な変遷を調べるとともに，国際規格のそれとの関連性を論じた．さらに，欧州と日本の PL 法に対する判断基準について触れ，最後にサービスロボットにおける判断基準を提案した．

2.　国際規格におけるリスク判断基準

安全関連の規格制定のガイドラインであるISO/IEC Guide51 では，安全は「受け入れることが不可能なリスクのないこと」（freedom from unacceptable risk）と定義し，絶対安全(absolute safety)から放れる事を許容している[5)]．そして，リスク低減処理後の危険源の残留リスク(residual risk)が社会で許容可能なリスク（tolerable risk）レベルに達してれば良しとしている．その判定基準を何処に置くかについては，明確な基準が定められている訳ではないが，それは「絶対安全の理想と様々の要因との間で最善のバランスを求めることにより決まる」としている．それらの要因とは，製品，プロセスまたはサービスが満たすべき要求，使用者のベネフィット，目的の適切さ及び費用対効果などの要素，その時代の社会の慣習などである．

ここからは，許容可能リスクの判断基準は，単なる科学技術による対応のみでは不十分であり，そこには経済的，社会学的或いは政治学的な要因が入ってくることが読み取れる．ただし，機械安全の基本規格（A規格）であるISO12100-1[6)]及び制御システム安全関連部に関するグループ安全規格（B規格）であるISO13849-1[7)]では許容リスクとは明示しておらず, 適切なリスク低減（Adequate risk reduction）と云う言葉を使っている．前者のA規格では，リスク低減目標の達成基準として 9 項目を上げているが，いずれも技術的基準である．その中には，「危険源によるリスクは実現可能な最も低いレベルまで低減する」，「採用した方策が機械の機能を遂行する上で機械の能力を過度に低減しないのは確かである」などの項目が上げられている．

整合規格ではないが，安全関連システムの機能安全に関する規格IEC61508 の第 5 部[8)]では，ALARP原則と許容可能なリスクの説明をしている．ALARPとはAs Low As Reasonably Practicableの略であり，イギリスの安全衛生庁HSEが整理し提案したもので，合理的に実現可能な最低の水準を意味している[9)]．もともとこの概念は，プロセス産業，原子力産業，自動車産業等での経験や知見を基に構築された．

ALARP原則では合理的に達成可能なレベルまで全てのリスクの低減を要求するが，達成できた残留リスクRrの許容可能性を判定する際，リスクの大きさに応じて 3 領域に区分している．これらは記号論理式を使うと以下のように説明される[10)]．

1)リスクは充分低減され，Rr は社会的に広く受け入れ可能なリスク（Broadly acceptable risk）の上限境界 Ra 以下になっている．すなわち

$$Ra > Rr \qquad (1)$$

この場合は許容可能性を有することは自明で検討することは必要ない．

2)リスクの低減が全く不充分で，Rr は社会的に到底許容不可能なリスク（intolerable risk）の下限境界￢Rt より高い．すなわち

$$Rr > \neg Rt \qquad (2)$$

この場合はリスクは許容できないので，更なるリスク低減方策の実行が必要である．

3)Raと一Rtの中間領域がALARP領域である．許容可能なリスクのRtはこの領域に設定され，残留リスクRrはRtより小さくなれば許容される[8,11)]．すなわち

$$一Rt > Rt > Rr > Ra \quad (3)$$

Ra は，社会的に誰もが納得するレベルなので，ほぼ一定の大きさとなる．ところが，Rt は，Guide51 で想定しているように，製造物を使用することによるベネフィット Be とリスク低減方策を実行することに要するコスト C とのバランスによって決定されるので，それぞれのリスクの状況によって異なってくる．その決定条件は次式のように解釈できる．

$$C > Be > Rt - Ra \quad (4)$$

この条件は，IEC 61508-5 附属書 B の次の説明に基づく．ここでは，ALARP 領域における許容リスクを 2 段階に分けている．1)リスク低減コストがベネフィットの改善分を上回る．2)リスク低減方策が実行不可能であるか，そのコストがベネフィット改善分と比較して不釣合に大きいならば望ましくないが許容する．

3.　製造者責任法におけるリスク判断基準

不法行為法及びPL法において根幹となる責任判断基準として，消費者期待基準（Consumer expectations test）とリスク効用基準（Risk-utility test）がある．後者は日本の法律書[4)12)]では，危険効用基準と訳されることが多い．または費用便益分析（Cost-Benefit Analysis; CBA）と呼ばれることもある．これらの基準は，米国の不法行為法の行為規範（norm for conduct）として発達したものであるが，国際規格におけるALARP原則をはじめとする責任判断基準に影響を与えており，両者に共通性がある．

消費者期待基準は，日本の多くの立法例で採用されているが，責任は使用者の合理的な期待（the reasonable expectations of the user）に適うかどうかで判断する．これは期待をリスク評価と読み替えると(1)式の基準と等価である．リスク効用基準は，リスクとベネフィットとの間のトレードオフ関係のバランスによって判断するもので，国際規格におけるALARP原則に対応する．そもそも，この基準は，米国のハンド判事が 1947 年に用いたハンドの公式（Hand Formula）を端初とするものである[13)]．この公式は，米国の裁判で不法行為法の核心となる思想で有責任性の認定は次式による．

$$P \cdot L > B \quad (5)$$

ここで，P(Probability)は事故の発生確率，L(Loss)はもし事故が発生したときの損害額である．従って P･L=R は，Guide51 で定義するリスク（=危害の発生確率と危害のひどさの組合せ）に外ならない．B(Burden)は，事故を防止・回避するために要する費用である．なお，R は事故が回避されたために得た便益（ベネフィット）とも解釈できる．(5)式は事故の予想損害額 R が事故回避のために投じた費用より大きい時には過失（或いは製造物欠陥）があったとして，製造者の責任が問われることを示す．従って，(5)式の不等号が逆になると，製造者の責任は問われないことになり，リスクの許容可能性を表し，B=C,R=Rt-Ra と置くと(4)式に帰着する．このように，ハンドの公式は，リスク便益比較に回避費用との衡量を加味し，それを不等式によって表したところに特徴がある．

日本では 1995 年に PL 法が施行され，当該製造物が「通常有すべき安全性」を欠いていることを欠陥として定義している．しかし，PL 法による判例が極めて少ないため，この定義だけでは欠陥の意味するところは必ずしも明確でない．それ故，他国の PL 法判例や法体系を調べ，責任判断の参考にする必要がある．そこで，以下に米国，欧州及び韓国の不法行為法の現況を概括する．

3･1　米国の不法行為　歴史的に見ると米国のPL法はコモンロー（common law ; 判例法）である不法行為法の法理と制定法である契約法（contracts）の法理が複合して成立した[4) 14)]．もともと製造物責任の法理は現在は米国連邦法の統一商法典(UCC: Uniform Commercial Code)として集大成されている統一売買法（Uniform Sales Act）の中の販売規定にその起源を有する．製品に欠陥があって表示された品質とは違うため損害を被った買手は，売手に対して契約違反（保証違反: breach of warranty）による損害賠償を請求できる．ところが，契約法は製造者と消費者との間に契約関係（privity）の存在が前提であるが，製品の品質と安全性についてはその関係がなくても保証（黙示の保証: implied warranty）を認めた判例が出されるようになった(1932 年のBaxter判例[15)]，1960 年のHenningen判例[16)])．これらは「契約法上の厳格責任（strict liability）」と呼ぶべき判例である．

これに対し不法行為法上の法理では過失の立証要件が被告の請求上の障害となっていたが，1962 年Greenman判例[17)]で過失の立証要件が外され，「不法行為法上の厳格責任」が構成されていく．これは，機械の販売者も製造者も契約法上は過失や欠陥が明示のあるいは黙示の保証違反をしている訳ではないが，機械が市場で販売されているからには，その機械は安全に仕事をこなすことは暗黙に了解されているという法理に基づく．

本判例は1965年に米国法律協会が編纂した第二次リステイトメント（Restatement of the Law Second, Torts）§402Aで権威付けされた．ここでは，消費者保護の観点から厳格責任（無過失責任）を基盤とする消費者期待基準が導入された[4]．しかしながら，米国特有の陪審制，弁護士制度，懲罰賠償制度（punitive damages）などの裁判制度と相俟って，この基準は製造者に一方的な犠牲を強いるとともに米国が訴訟大国となる結果を招いた．

この様な状況において，製造者が事故が起るとその結果のみで無過失責任を課すことは社会正義に悖るとともに，社会全体においても損失となるという考えが台頭してきた．1998年の第三次リステイトメントにおいては，リスク効用基準が採用されるとともに，製造物欠陥は次のように3つに分類された[4)18)]．

1. 製造上の欠陥－無過失責任
2. 設計上の欠陥－過失責任(Negligence)
3. 指示または警告上の欠陥－過失責任

製造上の欠陥は，同一生産過程において製造された他の製造物が備えている安全性を備えていない時に欠陥が発生したと判断する．すなわち，製造者が注意を怠っていなくとも，結果として製品が図面や仕様といった標準から逸脱していれば，欠陥認定を避け得ない：標準逸脱基準（Deviation-from-the-norm test）．製造上の欠陥は使用者は，そのリスクを避け得ず，製造者しかリスクの管理ができないので，無過失責任を課すことになる．

PL法の制定時には製造上の欠陥を想定していたので，消費者期待基準が有効に働いた．しかし，製造上の欠陥は，発生する製造物に限りがあるが，設計や仕様に欠陥がある場合は，生産された多量の製品で全て欠陥が存在することになる．従って，多大な経済的影響を製造者のみならず一般消費者全体に強いることになる．また，製品事故の多くが，使用者側の過失によって発生し，リスクは使用者側の管理下にあると云える場合も多々ある．そこで，より機能し得る設計欠陥基準として，リスク効用基準が採用され，その洗練された結果が「合理的な代替設計基準」（Reasonable Alternative Design Standard; RAD）である．すなわち，代替設計案を採用して得られる便益とそれを採用する事に伴う費用と比べ判断するもので，法と経済学におけるミクロ衡量の概念に属する．裁判において，この基準では，原告は単にRADを提示するだけでなく，そのようなRADを不採用の場合は製品が不合理なリスクを招くことを立証しなければならない．

指示または警告の機能は，①製造物のリスクを減少させるための使い方を伝える機能と②製品の特性上不可避的なリスク（例えば薬の副作用）を伴う場合，そのようなリスクを知らされた上でも使うべきか否かを使用者に選択をさせる機能である．いずれにしろ，リスクは製造者の行為のみで回避･低減できる訳でなく，むしろ使用者側がリスクを管理し，その行為や注意の仕方が事故防止に寄与する．したがって，当然過失責任が適用され，その判断はリスク効用基準に依存せざるを得ない．

米国のPL法の判断基準は，原告が損害の根拠を示さずに訴訟できるという消費者有利な考えから機械文明の産物としての製品を効用や利便性重視から守るという考えに転換した．この基準の転機を平野は「無過失責任の死」と表現している[19]．

なお最近になって，米国ではある製品カテゴリ全てを欠陥扱いとする責任，製品カテゴリ責任（product category liability）の法理が注目されている[4)14)]．すなわち，煙草訴訟，アスベスト訴訟，鉛塗料訴訟，ファーストフード肥満訴訟などの様に製品自体の属性が不可避的に危険（unavoidably dangerous）なものの扱いである．例えばアスベストに基づく健康障害はPL法で賠償を認める判例は数多く出ているが，同時にその使用は行政による法規制がなされている．一方，煙草の場合は民意に基づく法規制がなされていないにも係わらず，司法・裁判を通じて欠陥扱いにしようと試みられている．これは民主主義の世の中で許されるであろうかという問題がある．

平野はサービスロボット産業の場合も製品カテゴリ責任の適用が起こりかねないと次の様に指摘している．[4]サービスロボットは効用と便益をもたらすが，危険を伴うものとの前提で，製造者は新技術を世の中に提供することになる．そこで，万が一事故が発生し，それが為にサービスロボットは生来危険なカテゴリに属すると判断される恐れがある．その結果，使用者（消費者）からの圧力，或いは製造者の世間体と損害費用の計算からトレードオフが成立しないとして，サービスロボットという新技術の芽が摘み取られてしまう可能性が内在している．

以上に述べたように，米国ではいくつかの重複する諸法理は州制定法によって整理され不法行為に基づく製造物責任法という一つの法に収斂しつつあるように見える．しかし，不法行為法上の欠陥規定以外にも，契約法上の欠陥規定も健在であり，例えば米国商法典

2-315 条黙示の保証義務の重要性は看過できない．本稿においてはこの問題は付録で言及した．

3･2　欧州の不法行為　従来，ドイツの民事責任体系論は不法行為責任（過失責任）と危険責任（危険を作り出した者こそが責任を負うべしという理論）を厳格に峻別するといういわゆる複線性論が支配していた[20]．しかしながら，近年その厳格な複線性を再検討し，両責任原理を段階的に把握する見解，更には一つの責任原理に収斂させようとするものまでが登場している．危険責任論によると，鉄道，自動車，飛行機などは社会に効用を提供しているので許された危険と認めている．

EUでは，1985 年に制定された製造物責任（PL）指令及び 1995 年に制定された消費者保護（Consumer Guarantees）指令が加盟各国の契約法や不法行為法に関する判例に大きな影響を与えている．ドイツではPL指令に基づき，1990 年にPL法が施行されたが，「消費者期待基準」に則っており，無過失責任を追及しているように見える．しかしながら，実際の幾多の判例を見ると，結果としては設計及び警告表示に対しては過失責任を課し，リスク効用基準を採用している[21]．すなわち，基本的に当該製品がその時代の科学技術の水準（state of the art）に合致し，ひいては第三者機関の認証書を取得している場合には，その製品の欠陥に対して過失責任を課さない傾向が強い．

EUでは，1989 年に制定された機械指令により[22]，製造者は製品を市場に流通する際にCEマーキング制度を順守することで，安全確保の責務を法的に負っている．この制度では，設計者は予防概念としての安全設計を安全の原則に配慮して施し，リスクアセスメント並びにリスク低減の結果を文書で残すことが要求される．そして，その製品が受入れ可能なリスクに低減された後に，設計者として正当性をもって市場に流通されたとする．

欧州における製造者責任に対する典型的に表す考え方を事例として以下 2 件が上げられる．

1) オーストリアにおけるケーブルカー事故

2) スイス製シンドラー社の東京でのエレベータ事故

1) の状況は，2000 年 11 月 11 日にオーストリア中部のカプルンでスキー客専用のケーブルカーがトンネル内で火災炎上し，乗客約 180 名のうち 155 名が死亡した．04 年 2 月のザルツブルク地裁の一審判決は出火原因を車内に置かれた暖房器具の欠陥と認定したが，オーストリアの安全基準からは「事故の予見は不可能だった」と判断し，過失出火罪に問えないとして 16 人の被告全員を無罪とした．同地検はうち 8 人については控訴したが，リンツ高裁は05年9月控訴を棄却し，被告全員の無罪が確定した．

2) の状況は，2000 年 6 月 3 日に東京でスイス製シンドラー社のエレベータで 16 歳の少年が突然稼動したエレベータに挟まれ死亡した．その後，シンドラー社はスイス本社のホームページ[23]で，同社のエレベータが日本で問題とされている件につき以下の見解を発表した；

①シンドラーはこれまで設計に起因する死亡事故を起こした記録はない．

②事故は往々にして不適切な保守或いは乗客の危険な行動により起こる．

③事故を発生したエレベータは state of the art に適合している．

④国際的な様々な認証を取得している．

⑤世界中で使用されており毎日 700 万人を輸送している　(実績が充分である＝good engineering practice).

⑥エレベータでの死亡事故のリスクは他の輸送手段と比較し低い．

⑦安全はシンドラー社にとって最重要の企業価値である．

日本では，事故責任は危険責任型でなく人的過誤責任型であるために，後者のシンドラー社の抗弁に対しては，世論では様々な批判がある．しかし，これらは PL 訴訟への代表的な抗弁であることに留意すべきである．すなわち，製造者としての同社は，以下の論理で当社の過失なしを主張している．①充分な製造実績を有し設計に起因する死亡事故を起こしたことがない．②そのことからそれは製造時の最高基準水準（state of the art）に対応した技術を実践して安全設計されている（good engineering practice）と立証でき，③しかも第三者認証を取得済であるので説明責任（accountability）も果している．

3･3　韓国の現状　韓国では，2000 年 1 月 12 日に法律第 6109 号として製造物責任法が制定された．ここでは，「設計上の欠陥」につき，以下の通り定めている；

第 2 条 2．ロ．“設計上の欠陥”とは，製造業者が合理的な代替設計を採用していたならば被害又は危険を減少させ，又は避けることができたにもかかわらず代替設計を採用せず，当該製造物が安全でなくなった場合をいう．

すなわち，判断基準としての RAD がここでは既に明記され，法律として運用されている．

3･4　日本でのPL法判断基準　日本のPL法は欧州のPL法を参考にして，1995 年に制定された．これによ

り，厳格責任あるいは無過失責任はPL法で取扱われ，過失責任は民法（不法行為法）で取扱われることになった．いずれの場合も日本の多くの立法例では消費者期待基準が採用されている[12]．

もともと日本は審判社会でなく，民事訴訟の件数は欧米諸国と比べて極めて少ない．その理由としては次の様な事が云われている．①日本の法体制は遅れており，効率が悪く，訴訟費用が高い．例えば訴訟大国の米国の登録弁護士数(1997年)は人口1万人当り33.9人であり，欧州でも独10.4人，英13.7人，仏5.2人であるが，日本は1.3人にしかならず圧倒的に少ない[24]．②日本人は私人間の紛争を訴訟によって解決することを，ためらい或いはきらうという法意識を持つ[25].

PL法もこの例外でなく，PL法が制定されて10年以上経っても判決までに至った訴訟は100件たらずであり，それに100倍する訴訟は当事者間の和解で解決している．そのため，上述の米国の欠陥3分類については多くの弁護士事務所や保険会社の説明文書や法律解説文書の中で引用・説明しているが[12)26]，実際には，本稿で述べたRAD基準が日本の判例としてどう扱われるかは，現状としては検証することはできない.

日本のPL法におけるstate of the artは欧州の大陸法系と軌を一にして，開発リスクの抗弁（development-risk defense）として理解されている．同法の第4条（免責事由）第1号には「当該製造物をその製造物をその製造業者等が引渡した時における科学又は技術に関する知見によっては，当該製造物にその欠陥があることを認識することができなかったこと」とある．日本では厳格責任を適用するので，開発リスクの抗弁では，製品が流通に置かれた時点での世界最高の科学・技術の水準においても予見可能性がなかったことを，製造者が証明しなければならないと解釈されている[12].

一方，米国では，開発リスクの抗弁が関係するのは主に化学薬品や製薬であって，機械類の欠陥とはほぼ無関係であるとしている．4)第三次リステイトメント（§2コメントd）ではstate of the artは次の様に多義的に解釈されてきたので設計欠陥の不存在証明として採用されることがあっても，必ずしも決定的要因とならないと解説している.すなわち,それは①業界標準,②実用的に開発され，市販されている技術で最も安全で進んでいる技術，③実用可能な最良な科学技術などと解釈されてきた．（これに代わるものとして）「予見可能なリスクが合理的代替設計案を採用したならば避けることができたと予測できたにもかかわらず，それを採用しなかったので，製品が合理的に判断して安全でなくなっているならば，その設計は欠陥である」という RAD 基準を提案している.

安全設計の基準とその具体的適用の妥当性については，本来第三者認証機関が権威を持って判断する必要がある．欧米に比べ，日本ではこの仕組が社会制度上未整備であるため改善が必要である．また，日本の PL 法における設計責任は未だに消費者期待基準に基づく厳格責任である．有数の先進工業国としての日本がグローバル化，ボーダレス化した産業社会を生き抜いていくためには，自ずから世界最新の PL 法理を受入れるべきであろう．その中でも，RAD 基準はグローバル市場での設計の欠陥判断基準の眼目となる.

4. サービスロボットの安全鑑定

2005年から筆者らはサービスロボットに関する安全認証（鑑定）の業務を開始し，鑑定に際し，下記の技術図書の提出をメーカに要求する.

① サービスロボットの使用目的，使用範囲の設定及び安全標準作業の策定
② 安全基本コンセプト
③ 設計仕様書
④ リスクアセスメント
⑤ 取扱説明書

その他に，ISO9000に関連する組織図，ロボットの使用に関する契約書などを求める.

ここで特に重要な項目①②及び④について説明を加え，筆者らの考え方を述べ，最後に問題点を述べる.

4·1 使用範囲の制限　サービスロボットはその使用目的によって，空間的な使用領域，人との相互作用，対象となるユーザなどは大きく異なってくる．例えば，警護用ロボットや掃除用ロボットならば，使用領域はオフィスやアパートの様なある程度限られ，対象となる人間もオペレータとその他の従業員に限られてくる．一方，案内用ロボットであると使用空間は公共広場となり，対象も子供や老人を含む一般大衆となる.

従って，ロボットの使用範囲の制限を明確化して，安全が確保されるべき標準的使用条件を決定しなければならない．すなわち，法規制や過去の事故の経験を考慮し，この条件で機械を使用すれば事故が生じないと言える安全作業を設計者と使用者との間に確認する必要がある．安全標準作業からの逸脱は「合理的に予見可能な誤使用」に伴うリスクを生じる.

4·2 安全基本コンセプト　欧州におけるCEマーキング制度では機械指令[22]が安全基本コンセプトとなり，そこで想定された必須安全要求事項を満たす整

合規格に適合するように機械を製作して市場に出すことが求められる．適合性の宣言は個別機械を規定するC規格と安全コンポーネントを規定するB規格, 場合によっては基本規格であるA規格（ISO12100 及びISO14121[27]）に適合するかを製造者自らが内容をチェックして自己宣言するか第三者認証を受けて行なう．なお, 現状ではサービスロボットのC規格がないので, 欧米の認証機関ではその認証業務を実施していない．日本ではCEマーキング制度に対応する製造物の流通規則はなく，サービスロボットを規制する構造規格もない．そこで，筆者らの鑑定業務では，適合性を判断するために必要な安全基本コンセプトは国際基本規格に求めた. ただし, ロボットの使用場所が工場の場合, 事業所の労働安全を規制する労働安全衛生法第 28 条の 2（06 年 4 月改正施行）にその法律的根拠を求めた. その条項では事業者に対してリスクアセスメントとリスク低減措置の実施を努力義務として課し，その適切かつ有効なリスク低減の実施を図るために必要な指針「機械の包括的な安全基準に関する指針」（07 年 7 月改正）が公表された．後者の指針は国際規格（A規格）に整合しているが，機械の使用者だけでなく，製造者にもリスクアセスメントの実施を求めている．すなわち, 包括指針を順守すれば, 安衛法第 28 条の 2 に適法するだけでなく, 国際基本規格に適合することになる. また，必要ならば，筆者らは安全規格制定のガイドラインであるISO/IEC Guide51[5]も参照することを推奨している．
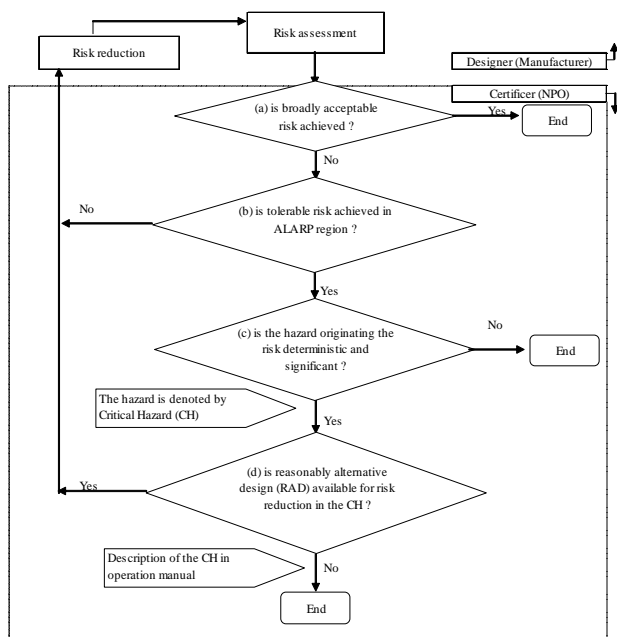
Fig.1 Iterative process to certify the validity of risk assessment and risk reduction

4･3　リスクアセスメント　筆者らはメーカの実施したリスクアセスメントの妥当性を製作したロボットの動作を現物確認した後，文書上において図 1 に示した手順に従って確認作業を実施する.

(a) 機械安全のＡ及びＢ規格に定める安全原則に則り, リスク低減が充分され広く受け入れ可能なリスクが達成されて，(1)式を満足するならば消費者期待基準を満たす残留リスクとして認める

(b) 安全原則を完全に守ることができず，リスク低減が不充分であっても，ベネフィットとの兼ね合いでリスクは許容可能となり，ALARP 原則（あるいはリスク効用基準）すなわち(5)式及び(6)式を満足するならば, 残留リスクとして認める.

(c) ただし，そのリスクの起因となる危険源が確定的（deterministic）かつ重要で（significant）あり，休業災害や死傷事故を起す可能性があるならば，その危険源は Critical Hazard（CH）と特記する.

(d) CH に対するリスク低減方策には合理的な代替設計（RAD）があり得るかを検証し, もしあり得るならば, メーカに設計のやり直しを勧告する．もし，それがあり得ないのならば, 残留リスクとして認める. そして, メーカの取扱説明書にその CH を明記することを条件として鑑定書を発給する.

使用者は製品と共に CH を受取り，製品の警句表示や取扱説明書の注意事項などを考慮のうえ，製品を使用することになる.

なお，この判断では，RAD は state-of-the-art，good-engineering-practice，あるいは開発リスクの抗弁と等価な効力を持つ基準であると解釈して適用している.

4･4　問題点　以上に述べた筆者らの安全鑑定は製造者が事前の予防概念に基づくリスクアセスメントによって責任を果す一手段を提示している．しかし, 最終的には残留リスクの管理は使用者に委ねるので, 製品事故に対する危機管理（crisis management）が適切になされ，事後の責任体系の確立が必要である．日本では人的過誤責任論が罷り通っており，事故が起こったら結果責任を問い，当事者は法的制裁（sanctions）, 場合によってはマスコミを通じての社会的制裁を受ける．一方，事前の安全責任を全うすれば，万一事故が起こってもそれは偶然の事故（accident）であるから, 当事者には制裁を課さないというのがグローバルなリスクベース社会の考え方である．日本でも事故を誰かの所為にして被害者救済の負担を課すのでなく，機械の製造者（設計者）も accident の被害者として，被災者と対等の立場に立ち，保険制度や労働者補償制度で被災者の救済を行うという相互扶助の仕組みが必要で

ある．したがって，制裁を要しない（freedom from sanctions）安全条件は図２のAND論理回路図で表せる．すなわち, 危険源を適切に低減されたレベル Rt まで設計者がリスクアセスメントをする事は必要条件であるが，社会的条件（Rc）の整備が十分条件として必要である．後者の条件としては，安全規則，保険制度，裁判の判例法理などによる免責保証が上げられる．このような安全条件を満足すれば，サービスロボットに付随する残留リスクは社会に広く受け入れられるリスクとして認知されるであろう．現況の日本では Rc の整備が不充分な状態であるが，リスクアセスメントを徹底して実行して，実績を上げていくことにより社会の認知を得るのが最善の道であると考える．
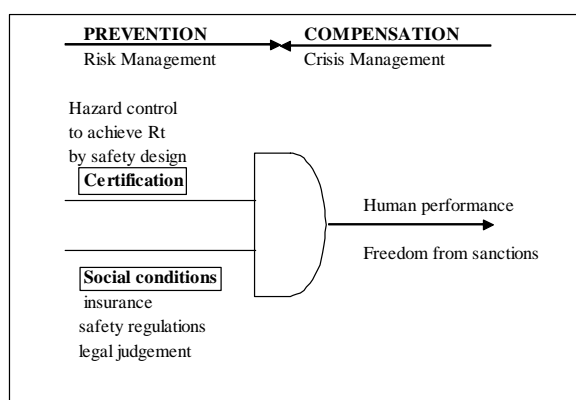
Fig.2 Necessary and sufficient conditions for the certification of safety of service robots

5. 結論

サービスロボットは利便性が高いが，一方では人と緊密な相互作用があるため，潜在的な危険源として，機能する可能性も高い. しかし, その安全性を検証し，リスク低減方策の妥当性確認を施すためのガイドラインないし基準は世界的にも未だ存在しない．本報はサービスロボットの安全設計の妥当性判断基準の構築並びにその手順の設定を意図するものである. そのため, 予防概念に基づく安全設計を指向する機械安全の国際規格におけるリスク判断基準を解釈し，安全設計の過失責任を事後において追求する不法行為法（PL 法）の法理に表される基準と比較検討した．得られた結果は次の通りである．

(1) 米国における最新の不法行為法の法理によると，科学技術の効用性・利便性を確保するために設計者は事前の設計責任を果していれば，設計上の欠陥については「合理的な代替設計基準（RAD 基準）」に基づき判断され，厳格責任を追求されることはない．

(2) RAD 基準を目安にすると安全な製品を製造者に事後に(ex post)要求するだけでなく，事前に(ex ante)要求する事が可能となる．すなわち安全の妥当性を設計段階で確認することができるので，安全の原則から演繹される安全設計に基づく予防概念が有効に働く．

(3) 従来において, 国際規格や PL 法理上の判断基準として暗黙に認められていたが明確な基準がなかった state-of-the-art 基準，good-engineering-practice 基準，開発の抗弁などは RAD 基準を代用することによって明確化される．

(4) 新技術であるサービスロボットの安全の妥当性判断は次の手順を踏んで行なうことを提案する．

(a) 機械安全の国際規格に則る安全設計

(b) リスクの許容可能性の ALARP 原則あるいはリスク効用基準による判断

(c) Critical Hazard (CH)の確定－重要で確定的な危険源でそれに伴う残留リスクが ALARP 原則を満足する．

(d) CH に対するリスク低減方策の RAD 基準による妥当性確認

(5) 最終的には残留リスクの管理は使用者に委ねるので，万一事故が発生した時の安全責任には制裁を要しない安全条件の徹底が望まれる．その条件を成立するためには適切なリスク管理が必要条件であるが，十分条件として安全規則，保険制度などの社会的条件の整備がなければならない．

(6) 製品の安全性に対しては不法行為法の事後責任だけでなく，契約法上の法理に基づく黙示の保証義務が存在することを配慮する必要がある．

謝辞

本稿の作成にあたり，契約法上の問題につき技術士の松本俊次氏，ドイツの事情については法律家の増田栄作氏から重要な助言を頂いた事をここに感謝する．

付録　契約法上の黙示の保証義務

品質保証規格であるISO9000 で, 欠陥(defect)とは「意図した使用または規定した使用に関連する要求事項を満たしていないこと」(3.6.3 項)と定義される．ここで要求事項（requirement）とは「明示されている，または一般的に黙示（generally implied）のまたは義務（obligatory）として負わされているニーズ（need）または期待（expectation）をいう」(3.1.2 項)．これは米国統一商典法（UCC）2-3，5 条で定める特定目的への適

合性に対する黙示の保証（implied warranty of fitness for particular purpose）の概念と一致する[28].

すなわち，販売者が取引の諸状況から，その製品に対する顧客の意図する使用目的を知得たり推論できる場合には，販売者（製造者）は明示された契約書や仕様書がなくても，その顧客の特定の使用目的に適合するものを納入する責任を生ずる.

また，ISO9004(7.3.2 項)[29]によると，製造者は製品の設計・開発の時から顧客または市場，利害関係者のニーズや期待あるいは業界の慣行などを特定してそれらを満たすことが必要である．その製品が，要求事項を有効かつ効果的に満たしているという客観的な証拠を準備するため，製品仕様書などを考慮すべき要求事項と照らして再審査すべきである．これらの記述もUCCのいう商品性の黙示の保証に該当する.

すなわち，不法行為法としての「欠陥」という概念と契約法上での「欠陥」は別々の法理に基づき，実際の社会経済活動に適用されるという事である．実際，判例では契約法上の欠陥に基づく損害賠償額は往々にして，不法行為法のそれをはるかに上回るものが存在する．それ故，製造者は契約法上の黙示の保証義務に基づく「欠陥」に配慮する事が推奨される.

参考文献

(1) Kabe T., Tanaka K. Someya M., Sugimoto N., Safety Design of Machinery, a priori prevention, *JSME C*, Vo.73-734, (2007), pp.2796-2804.
(2) Kabe T., Hiura R., Ikeda H., Sugimoto N., Safety Certification of Service Robot, Proceedings of 4th International Conference: Safety of Industrial Automated Systems, Chicago (2005).
(3)Kabe T., Safety certification of service robot, *Journal of the Robotics Society of Japan*, 25 (2007).
(4) Hirano S., American torts: Multi-disciplinary theories, Chuo university publishment department (2006).
(5) ISO/IEC Guide 51: 1999 Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards (1999).
(6) ISO 12100-1,-2:2003,Safety of machinery – Basic concepts of general principles for design (2003).
(7) ISO13849-1,Safety of machinery-Safety-related parts of control systems-(2006).
(8) ISO61508-5:Functional Safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems0Part5(1999).
(9) Principles and guidelines to assist HSE in its judgments that duty-holders Rave reduced risk as low as reasonable practicable, Health and Safety Executions (HSE), U.K. internal draft.
(10) Mukaidono M., Inoue Y., Kawaike N., Hirao Y., Futsuhara K., Safety of control system, ISO 13849-1, IEC 60204-1, IEC 61508, Japanese Standards Association (2007).
(11) ISO14971:2000, Medical devices – Application of risk management to medical devices (2000).
(12) Nagase F.,Explanation of product liability, hitotsubashi-shuppan co. Ltd. (2004).
(13) United States v. Carroll Towing Co., 159 F. 2d 169 (2nd Cir. 1947) (Hand, J.).
(14) Owen D.G., Montgomery J.E., Davis M.I., Product Liability and Safety, Foundation Press. (2004).
(15) Baxter v. Ford Motor Co., 168 Wash. 456, 12p. 2d 409 (Wash. 1932).
(16) Henningen v., Bloomfield Modors, Inc., 32 N.J.358, 161 A. 2d 69 (N.J. 1900).
(17) Greenman v. Yuba Power Products, Inc., 59 Cal. 2d 57, 27 Cal. Rptr. 697, 377 p.2d 897 (Cal. 1963).
(18) Morishima A., Yamaguchi M., Translation of Restatement of the third; Torts: Products Liability,The American law Institute(1998), Bokutakusha, (2001).
(19) Hirano　S.，A new phase of the American law products liability law, The death of strict liability, Seibundo, (1995).
(20) Masuda E., Development of the responsibility theory of civil code in Germany (II), Ritsumeikan Juristic No.237, (1995).
(21) Koetz H.，Ist die Produkthaftung eine vom Verschulden unabhaengige Haftung?，Festschrift W，Lorenz，S. 109-113ff，(1991).
(22) Directive 2006/42/EC on Machinery
(23) Schindler press release of 08.06.2006, available from <http://www.schindler.com> (accessed 2008-05-01)
(24) Justice System Reform Council Documents
(25) Kawashima T., Japanese consciousness of the low, Iwanami-shinsyo, (1967).
(26) Saito N., Ethical problems concerning the responsibility of human control products, Kyoto University Prospectus, No.6, (2003).
(27) ISO 14121:1999,Safety of machinery – Principles of risk assessment (1999).
(28) Matsumoto T., Process　safety of plant, Japan Institute for Plant Maintenance, (2004).
(29) ISO9004:2000,Quality managament systems-Guidelines for performance improvements(2000).